



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009147845/02, 22.12.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.12.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.12.2009

(43) Дата публикации заявки: 27.06.2011 Бюл. № 18

(45) Опубликовано: 27.05.2012 Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 20080124454 A1, 29.05.2008. JP 59-
017222 A, 28.01.1984. RU 2333300 C2,
10.09.2008. EP 1318209 B1, 16.04.2008. EP
1422705 A1, 26.05.2004.

Адрес для переписки:

620000, г.Екатеринбург, пр. Ленина, 51,
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

(72) Автор(ы):

**Васьковский Владимир Олегович (RU),
Савин Петр Алексеевич (RU),
Курляндская Галина Владимировна (RU),
Свалов Андрей Владимирович (RU),
Сорокин Александр Николаевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

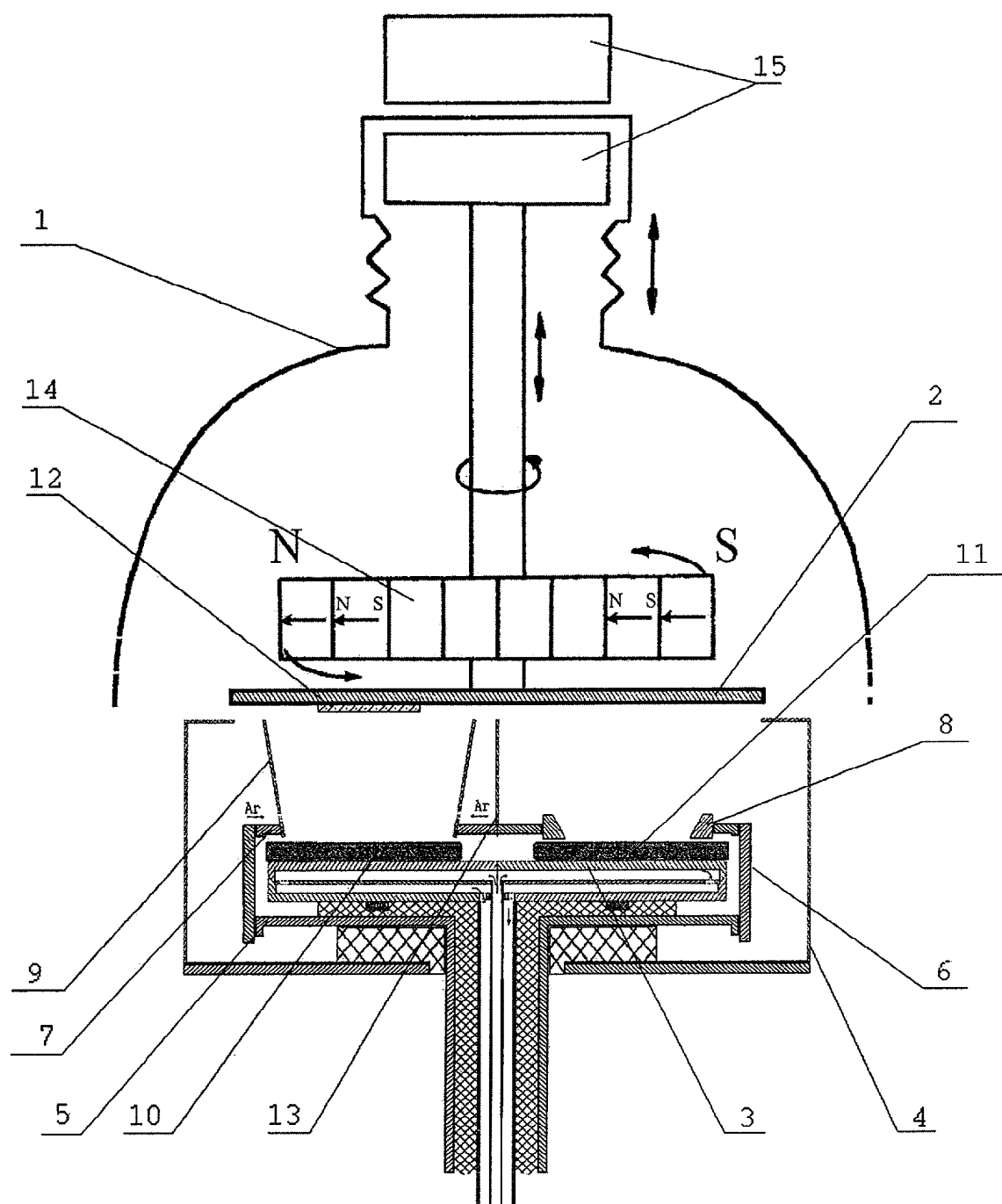
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ "УРАЛЬСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА
РОССИИ Б.Н.ЕЛЬЦИНА" (RU)**

**(54) СПОСОБ, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК И
МНОГОСЛОЙНАЯ СТРУКТУРА, ПОЛУЧЕННАЯ С ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области ионно-плазменного напыления многослойных пленок. Согласно способу получения пленок осуществляют ионно-плазменное напыление материала мишени на подложку в вакууме при приложении магнитного поля. При этом предварительно устанавливают зависимость характеристик материала напыляемого слоя от величины давления распыляющего газа. Напыление осуществляют при величине давления, а также величине и/или ориентации прикладываемого магнитного поля, необходимых для получения заданных характеристик материала напыляемого слоя. Причем по крайней мере два слоя напыляют из одной мишени при разных давлениях

распыляющего газа. Устройство для получения пленок содержит экранированную катод-мишень и подложкодержатель, расположенный в горизонтальном магнитном поле с возможностью изменения ориентации поля. Экран выполнен регулируемым по высоте с по крайней мере двумя отверстиями для распыляемого материала. При этом каждое отверстие имеет регулируемую по высоте вставку, а по вертикали отверстия разделены дополнительной изолированной перегородкой. Технический результат - получение многослойных пленок с различными свойствами слоев и расширение технологических возможностей. 3 н. и 3 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C23C 14/34 (2006.01)**C23C 14/54** (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2009147845/02, 22.12.2009**(24) Effective date for property rights:
22.12.2009

Priority:

(22) Date of filing: **22.12.2009**(43) Application published: **27.06.2011 Bull. 18**(45) Date of publication: **27.05.2012 Bull. 15**

Mail address:

**620000, g.Ekaterinburg, pr. Lenina, 51,
URAL'SKIJ FEDERAL'NYJ UNIVERSITET**

(72) Inventor(s):

**Vas'kovskij Vladimir Olegovich (RU),
Savin Petr Alekseevich (RU),
Kurljandskaja Galina Vladimirovna (RU),
Svalov Andrej Vladimirovich (RU),
Sorokin Aleksandr Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**FEDERAL'NOE GOSUDARSTVENNOE
AVTONOMNOE OBRAZOVATEL'NOE
UCHREZHDENIE VYSSHEGO
PROFESSIONAL'NOGO OBRAZOVANIJa
"URAL'SKIJ FEDERAL'NYJ UNIVERSITET
IMENI PЕРVOGO PREZIDENTA ROSSII
B.N.EL'TsINA" (RU)****(54) METHOD, AND APPARATUS FOR MULTI-LAYER FILM PRODUCTION AND MULTI-LAYER STRUCTURE PRODUCED BY THEIR MEANS**

(57) Abstract:

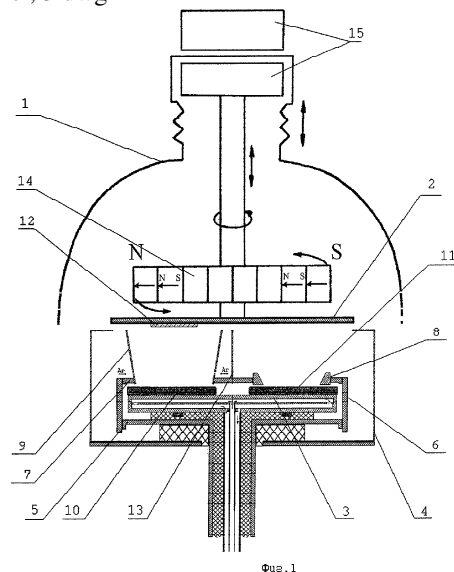
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to ion-plasma sputtering of multi-layer films. According to the film production method, ion-plasma sputtering of substrate by target material is done in vacuum with application of magnetic field. Preliminarily dependence of material properties of sputtered layer on pressure rating of sputtering gas is determined. Sputtering is done at pressure rating as well as rating and/or orientation of applied magnetic field required for obtaining specified properties of sputtered layer material. Wherein at least two layers are sputtered from one target at different sputtering gas pressures. Apparatus for film production comprises a shielded cathode target and a substrate holder located in horizontal magnetic field with orientation field configured to be changed. The shield is made with adjustable height and at least two openings for sputtering material. Each opening has an insert with adjustable height, and additional

vertical wrapped partition.

EFFECT: multi-layer films with different properties of the layers may be produced and manufacturing capability increases.

6 cl, 5 dwg



Фиг. 1

Способ и устройство для получения многослойных пленок относятся к области ионно-плазменного напыления тонких пленок в вакууме, которые могут быть использованы при создании многослойных пленок, например, с магниторезистивным эффектом для применения в магнитной записи, создания магнитных датчиков счета меток, определения положения объекта, скорости движения объекта и т.п.

Для указанных устройств чаще всего используют многослойные пленочные структуры, содержащие магнитные слои. Ядро такой многослойной структуры составляет некоторая простейшая ячейка, состоящая из набора слоев, например трехслойная: два магнитных слоя, разделенные немагнитной проводящей прослойкой. При наличии отрицательной обменной связи между магнитными слоями в такой структуре реализуется эффект гигантского магнитосопротивления (ГМС) - электросопротивление структуры зависит от взаимного расположения намагниченностей магнитных слоев: сопротивление максимально при антипараллельном расположении намагниченностей слоев и минимально при их параллельном расположении. Примером таких многослойных структур являются слои железа, разделенные прослойкой хрома, или слои кобальта, разделенные прослойкой меди. В данном случае для увеличения полезного сигнала на практике используют набор из нескольких одинаковых простейших ячеек - сверхрешетки Fe/Cr и Co/Cu. Фактором, ограничивающим практическое использование этого типа материалов, является относительно большая величина внешних магнитных полей, необходимых для изменения взаимного расположения намагниченностей слоев, исчисляемая сотнями эрстед. Гораздо более распространены устройства, использующие эффект, являющийся частным случаем ГМС - спин-вентильный эффект. Простейший спиновый вентиль состоит из двух магнитных слоев, обладающих разной коэрцитивной силой, разделенных немагнитной проводящей прослойкой. Образец такой структуры представлен, например, в техническом решении, изложенном в патенте Грюнберга (патент US №4949039, G01R 33/06, от 14.06.1989, прототип). На практике, как правило, магнитную жесткость и способность сохранять неизменным направление намагниченности под действием определенного интервала магнитных полей одного из слоев обеспечивают за счет обменной связи с дополнительным магнитным слоем, например слоем антиферромагнитного сплава железо-марганец. При этом намагниченность свободного магнитного слоя может менять свою ориентацию под действием внешнего магнитного поля (например, применение такой структуры в патенте EP №2023354, H01F 10/00, H01F 10/32, от 20.05.2008). Тем самым достигается изменение взаимной ориентации намагниченностей слоев и, следовательно, изменение электросопротивления многослойной структуры. Технология получения такой многослойной структуры в едином цикле требует как минимум напыления двух разных магнитных материалов, а устройство для получения должно иметь несколько мишеней или источников напыляемого материала. То есть требует довольно сложного оборудования, и это усложняет технологический процесс. Еще большее количество слоев с разными физическими свойствами требуется для создания магниторезистивных головок считывания с жестких дисков.

Известны технические решения (US № 5958155, G02B 1/10, C23C 14/06, C23C 14/34, от 20.07.1995, US № 6811662, C23C 14/34, C23C 14/35, C25B 11/00, от 22.08.2003), в которых для создания разных слоев последовательно напыляют материал с разных мишеней в одном технологическом цикле. При этом используют для распыления устройство магнетронного типа с подачей на мишени как постоянного напряжения, так и радиочастотного напряжения (13,56 МГц). Определенный недостаток этих

решений состоит в необходимости использования для напыления каждого слоя, в том числе и магнитного, отдельной мишени и отдельного магнетрона.

В тоже время для получения необходимых слоев с разными магнитными свойствами может использоваться варьирование технологических параметров процесса распыления.

Так известен способ получения многослойных магнитных пленок путем термического испарения, в котором структура $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{SiO}_2/\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ получается с разной коэрцитивностью слоев за счет варьирования скорости осаждения слоев $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (патент RU №2315820, C23C 14/06, от 2004.08.30). При этом при получении и отжиге в плоскости подложки накладывается горизонтальное магнитное поле. Толщина прослойки окиси кремния подобрана так, что отсутствует обменное взаимодействие между слоями и слои перемагничиваются по отдельности. Разная коэрцитивность слоев в данном случае, скорее всего, связана с разной температурой растущих пленок, осаждающихся при различной скорости напыления, которая достигается изменением мощности электронного пучка. Если только здесь не задействована разная скорость испарения компонентов разогретого до высокой температуры сплава, приводящая к изменению состава слоев пермаллоя. Отметим, что в этой области более широко известен метод молекулярно-лучевого испарения, который используется для получения пленок с гигантским магнетосопротивлением в сверхвысоком вакууме.

В более близком к заявляемому способу получения пленок предлагается выполнять порционное осаждение слоя, а именно прерывать на некоторое время процесс напыления для исключения кристаллизации пленки (патент RU №2122243, G11B 5/84, от 1996.06.20). При этом температура подложки не повышается выше некоторого уровня, и этим достигается стабилизация аморфного состояния пленки. Тем самым получают магнитомягкие (с прерыванием процесса) и магнитожесткие слои (без прерывания) в едином цикле. Таким способом получались пленки переходных металлов Co, Fe, NiFe. При этом дополнительный отжиг различным образом действует на пленки кобальта и пермаллоя: коэрцитивность последних меняется при отжиге в разы, а первые ее меняют всего на несколько эрстед. В отличие от первого способа промежуточный слой здесь не напыляли. Этот способ также можно связать с влиянием кристаллической структуры слоев на их магнитные свойства: для получения магнитомягкого слоя подбирают свои условия осаждения.

Само используемое при этом устройство является типичным для метода магнетронного ионно-плазменного распыления: катод-мишень и подложкодержатель, закрываемый шторкой (экраном). Изменение свойств пленки в устройстве обеспечивается периодическим перекрытием подложки на несколько секунд от осаждаемого материала шторкой (экраном), и тем самым дают возможность понизить (стабилизировать) ее температуру. Так как используется только одна мишень, то устройство имеет определенные ограничения в плане получения многослойных структур.

Более детальное описание устройства распыления (магнетрона) дано, например, в способе получения эпитаксиальных пленок (патент RU №2333300, C30B 23/02, C30B 29/10, от 2006.04.26). Оно содержит охлаждаемую катод-мишень с магнитной системой, на которую подается высокочастотное напряжение частотой 13,56 МГц при давлении аргона $0,3 \cdot 10^{-3}$ - $0,8 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст. Экран здесь заземлен и расположен под краем катода. Устройство предназначено для узкого применения и не позволяет получать многослойные пленки. А при распылении магнитных материалов требует

довольно тонких мишеней. Другой недостаток указанных магнетронных систем распыления - неэффективный расход материала мишени из-за большой неоднородности магнитного поля на мишени.

В тоже время ранее был предложен ионно-плазменный способ получения многослойных пленок, согласно которому осуществляют изменение состава, а следовательно, и магнитных свойств последующего слоя изменением ориентации приложенного в области подложки магнитного поля. Изменение ориентации поля выполнялось его вращением.

Предполагается, что в данном способе не меняются параметры распыления мишени, а воздействие поля реализуется посредством влияния ориентации поля на распыленный материал мишени.

Известно устройство, которое состоит из радиочастотной катода-мишени (стандартная частота - 13,56 МГц) с заземленным экраном, подложкодержателя над мишенью (Б.С.Данилин, В.Ю.Киреев. Применение низкотемпературной плазмы для травления и чистки материалов. М., Энергоатомиздат, 1987 г., стр 164).

Известно другое устройство, в котором на зону разряда наложено горизонтальное магнитное поле катушек, ориентированное в плоскости подложки (Патент RU №2046840). В области мишени других магнитных полей не имеется. Величина поля в области подложки и мишени меняется путем варьирования тока в катушках. Поворот катушек в принципе здесь возможен. Заземленный экран в отличие от предыдущего устройства закрывает края мишени (сбоку и нависает сверху). Для повышения рабочего давления использовался вспомогательный разряд. Однако использование высокочастотного напряжения предусмотрено. Поэтому устройство может быть взято в качестве наиболее близкого решения. Возможность получения слоев с разными магнитными свойствами с использованием одной мишени данным устройством не показана. Здесь не раскрыты технологические возможности данной методики. Кроме того, было бы полезно дополнить устройство возможностью изменения состава пленок и, соответственно, магнитных свойств за счет дополнительных воздействий или изменений параметров распыления, как в присутствии поля, так и без него. Сверх того, важно таким образом усовершенствовать систему распыления с одним катодом-мишенью, чтобы появилась возможность напылить хотя бы простейшую спин-вентильную структуру, например в виде двух магнитных слоев с разной коэрцитивной силой, разделенных немагнитной прослойкой.

Поэтому необходимо выделение таких условий напыления, чтобы существенно расширить возможности ранее использованного способа для решения конкретной задачи создания слоистого материала, например, для магниточувствительных элементов датчиков, а кроме того, необходимо усовершенствование использованного ранее устройства для реализации предлагаемого способа.

Техническим результатом предлагаемого решения является возможность на базе одного магнитного материала получать структуры с различными параметрами, т.е. расширить технологические возможности способа при использовании для осуществления этой задачи улучшенного устройства ионно-плазменного распыления.

Технический результат достигается тем, что в способе получения многослойных пленок, заключающемся в ионно-плазменном напылении материала мишени на подложку в вакууме, один из слоев с отличными от предыдущего свойствами получают изменением давления распыляющего газа.

Кроме того, при приложении в плоскости осаждения внешнего магнитного поля с возможностью смены его ориентации при получении следующего слоя или/и его

величины слои могут отличаться условиями получения возможными комбинациями указанных параметров поля и давления рабочего газа.

Технический результат достигается тем, что в устройство для ионно-плазменного получения пленок, содержащее систему контролируемого напуска распыляющего газа, подложкодержатель, дополнительно введены следующие усовершенствования: а) экран катода-мишени выполнен регулируемым по высоте с перекрытием распыляемой поверхности деталью экрана с по крайней мере двумя отверстиями над распыляемыми материалами, расположенными на поверхности катода-мишени, б) при этом каждое отверстие имеет регулируемую по высоте вставку, при чем по вертикали отверстия разделены изолированной перегородкой (для случая высоты вставок, недостаточной для избегания перемешивания распыляемых материалов на подложке), так что отсутствует перекрытие распыляемого материала на подложке, центр которой может перемещаться при вращении от центра одного отверстия с распыляемой мишенью к другому. Кроме того, устройство может иметь вставки в отверстиях экрана, высота которых достаточна для исключения перекрытия распыляемого материала на подложке, размещенной на подложкодержателе, находящемся в горизонтальном магнитном поле, создаваемом магнитной системой над ним, имеющей возможность изменения ориентации или/и величины поля относительно экранированной катода-мишени и подложки.

Другой результат заключается в получении многослойной структуры (по крайней мере, трехслойной при использовании только двух распыляемых материалов, расположенных на катоде-мишени) с разными свойствами слоев (например, магнитных: коэрцитивная сила, поле анизотропии и т.д.), получение которых обеспечено применением способа, а именно последующий слой того же материала получают при измененных условиях по давлению распыляющего газа или при условиях, отличных от условий получения предыдущего магнитного слоя или любого требуемого слоя, например по давлению рабочего газа, и усовершенствованного устройства, позволяющего на одном катоде-мишени располагать и распылять с него, как минимум, два разных материала. В качестве контролируемых физических параметров здесь описываются магнитные характеристики многослойной структуры, но это скорее определяется поставленной задачей и не ограничивает использование других свойств многослойных структур.

Вообще свойства магнитных материалов могут быть обусловлены действием нескольких факторов, среди которых структура и состав. Последние, в свою очередь, во многом могут определяться технологией получения. Например, известно, что коэрцитивная сила (H_c) во многом определяется параметрами микроструктуры пленки, которая, в свою очередь, определяется технологическими параметрами получения: давление рабочего газа, напряжение на мишени, наличие магнитного поля и т.д. На состав пленки, если она напыляется с использованием многокомпонентной сплавной мишени, влияет степень воспроизводимости пленкой состава мишени, обусловленная, в первую очередь, коэффициентами распыления компонентов сплавной мишени и реиспарения этих компонентов из растущей пленки. Например, в одной из работ утверждается, что основные составляющие пермаллоя железо и никель имеют "значительную разницу коэффициентов распыления компонентов (ЖТФ, 2004, т.74, вып.1, стр.120-122). Вообще же существует значительное количество литературных данных, которые свидетельствуют о комбинированном влиянии параметров распыления на магнитные свойства пленок.

В частности, как показано (III Всерос. Конференция по наноматериалам

«НАНО-2009», 20-23.04.09, стр.230-233), на магнитные свойства пленок влияет и изменение давления рабочего газа при ионно-плазменном распылении, что можно использовать для получения многослойной структуры, в частности включающей магнитные слои из одного материала, но обладающие разными магнитными свойствами.

Возможные варианты проведения процесса напыления с изменением давления приводим на примерах получения пленок переходных металлов и их сплавов - кобальта и пермаллоя. Эксперименты по напылению многослойных магнитных пленок проводились с помощью устройства ионноплазменного распыления, схематично представленного на фиг.1.

Здесь в корпусе 1 показаны основные узлы напылительной установки - подложкодержатель 2 и под ним водоохлаждаемый катод-мишень 3. Последний установлен в незаземленном экране 4, верхняя часть которого расположена под подложкодержателем 2. Непосредственно в область, ограниченную этим экраном 4 и подложкодержателем, подается рабочий газ, используемый для распыления мишеней 10 и 11, расположенных на поверхности катода-мишени 3. На рисунке показаны только две одновременно распыляемых мишени (обычно из разных материалов), лежащих на поверхности катода-мишени, однако их количество может быть и большим. Указанный катод-мишень 3 имеет заземленный экран 5, при этом, в отличие от прототипа, его детали 6 (боковая) и 7 (сверху) установлены с возможностью перемещения по вертикали.

Аналогичным образом установлены 2 вида вставок: 8 (короткая справа на рисунке) и 9 (конусная слева), используемые по отдельности (или иным доступным образом) в количестве согласно числу мишеней распыляемого материала. Высота конусных вставок подбирается так, чтобы исключить одновременное напыление распыляемых материалов на подложку, расположенную над одним из материалов, используемого в качестве мишени. При использовании только коротких вставок 8 с той же целью исключения напыления материала с разных мишеней на подложку 12 при одновременном распылении материалов, расположенных на поверхности катода-мишени, над двумя (или более) распыляемыми мишенями используется дополнительная вертикальная перегородка 13. Возможен вариант использования над одним распыляемым материалом короткой вставки, а над другим материалам более длинной. Подложка при этом перемещается между центрами распыляемых материалов. Горизонтальное магнитное поле, как и у прототипа, создается магнитной системой 14 и используется для понижения рабочего давления и концентрации плазмы в области, ограниченной незаземленным экраном 4. В принципе высокочастотный или другой самостоятельный разряд не требуют для работы обязательного выполнения этого условия: распыление реализуется и без поля. В данном случае оно также служило для задания направления наведенной магнитной анизотропии в плоскости образца. На рисунке изображено применение одной магнитной муфты 15, но может использоваться и двойная магнитная муфта. Одна (например, внутренняя) вращает подложкодержатель, а вторая (наружная) перемещает магнит по вертикали и выполняет его вращение.

Измерение таких магнитных параметров, как H_c (коэрцитивная сила вдоль легкого направления намагничивания) и H_k (поле анизотропии), проводилось на керровском петлескопе при приложении внешнего магнитного поля H_0 от 0-150 эрстед. Использовался также вибрационный магнитометр для изучения объемных свойств пленок и другое доступное исследовательское оборудование: рентгеновский

дифрактометр и атомный силовой микроскоп для определения структуры и состава.

Применение описанного выше устройства при реализации предлагаемого способа проводится, например, в следующей последовательности:

а) Сначала устанавливают скорости распыления и определяют влияние изменения
 5 давления на магнитные свойства, состав и т.д. однослойных пленок одинаковой
 толщины. Так, например, для пермаллоя и кобальта зависимость H_c от давления
 приведена на фиг.2. Большие значения при этом относятся к H_c кобальта, который,
 будучи более высокоанизотропным материалом, имеет большую коэрцитивную силу.
 10 Там же приведен состав пермаллоя от давления распыляющего газа. Как видно, с
 понижением давления содержание железа уменьшается, что приводит к росту
 величины константы отрицательной магнитострикции материала (R.C.O'Handley.
 Modern Magnetic Materials: Principles and Application. New York: Wiley, 2000, p.570).
 15 Увеличение магнитострикции в совокупности с существующими в пленках
 напряжениями может привести к появлению перпендикулярной компоненты
 магнитной анизотропии, что ведет к изменению структуры доменных границ и,
 следовательно, к росту H_c при повышении давления рабочего газа P_{ar} .
 Дополнительной причиной роста коэрцитивной силы может служить изменение
 20 шероховатости поверхности с ростом указанного давления, о чем наглядно
 свидетельствует зависимость величины среднеквадратичной шероховатости R_{rms} от
 давления, приведенная на фиг.3. Рост давления Ar приводит также к уменьшению
 скорости V_{dep} осаждения пленок, что обусловлено ростом рассеяния выбитых из
 25 мишени атомов распыляемого материала атомами аргона. Такие столкновения
 уширяют распределение углов, под которыми осаждающиеся атомы достигают
 подложки. Это в свою очередь приводит к усилению эффекта самозатенения при росте
 пленки, что способствует образованию межзеренных пустот и формированию
 столбчатой микроструктуры, которая также инициирует появление перпендикулярной
 30 компоненты магнитной анизотропии. Кроме того, низкая величина V_{dep} способствует
 увеличению количества атомов Ar, захваченных осаждающейся пленкой. Таким
 образом, высокое давление аргона в процессе осаждения пленок способствует росту
 дефектности структуры образцов, тем самым увеличивая H_c пленок.

б) Затем, имея вышеуказанную зависимость, можно осуществить следующий шаг -
 35 получить, например, трехслойную структуру из двух магнитных слоев и одного
 немагнитного. Для этого при выбранных параметрах напыления (напряжение на
 мишени, давление рабочего газа, время напыления) осаждают первый магнитный
 слой. Затем осаждают немагнитный слой выбранной толщины. В приведенном
 40 устройстве это выполняется переводом подложки из первого положения во второе,
 где расположена немагнитная мишень. При этом в конце напыления в течение
 некоторого заданного времени меняют давление рабочего газа до величины, при
 которой предполагается напылять второй магнитный слой. Как правило, для такой
 смены и стабилизации давления аргона в рабочей камере требуется 10-15 сек. При
 45 этом необходимо учесть изменение скорости напыления немагнитного материала при
 изменении давления аргона с тем, чтобы итоговая толщина немагнитного слоя
 соответствовала требуемой величине. После этой процедуры подложка снова
 переводится в положение над магнитной мишенью, и производится напыление
 50 второго магнитного слоя.

Возможен другой вариант процесса смены давления, при котором напыление
 промежуточного (немагнитного) слоя проводится при постоянном давлении. Затем
 подложка закрывается экраном, и производится смена и стабилизация давления

аргона. После получения заданного давления экран убирается, и при давлении, отличном от первоначального, выполняют осаждение второго магнитного слоя. Так как в процессе формирования трехслойной пленочной структуры параметры напыления задаются в соответствии с ранее полученной зависимостью свойств пленок от давления аргона, то и свойства второго магнитного слоя будут отличаться от первого.

Пример, подтверждающий присутствие в полученной трехслойной структуре слоев пермаллоя, характеризующихся разными (отличными друг от друга) магнитными свойствами, приведен на фиг.4. Здесь представлены петли гистерезиса трехслойной пленки, магнитные слои которой получены при разных давлениях аргона, а толщина немагнитного слоя была подобрана так, чтобы устранить обменное взаимодействие между слоями пермаллоя - магнитооптические петли: (а) - со стороны подложки, б) - со стороны нанесения; с) - объемная петля гистерезиса, измеренная на вибромагнетометре. Как наиболее наглядно видно из магнитометрической петли гистерезиса, магнитные слои обладают разной коэрцитивной силой и перемагничиваются раздельно. Подобным образом получались трехслойные структуры с кобальтом в качестве магнитного материала. Сначала получили зависимость магнитных свойств от рабочего давления аргона в камере (кривая 2, приведенная на фиг.2)

и затем таким же образом получили трехслойную пленку.

На фигуре 5 (верхний график) для примера представлена магнитометрическая петля гистерезиса трехслойной пленки, слои Со которой имеют толщину 20 нм и разделены прослойкой меди указанной там же толщины. Здесь также достаточно хорошо просматривается раздельное перемагничивание слоев. Ниже приведена магниторезистивная петля гистерезиса, измеренная также в плоскости образца вдоль оси легкого намагничивания. Из петли следует, что трехслойная структура Со/Си/Со обладает спин-вентильным эффектом, обусловленным послойным раздельным перемагничиванием слоев кобальта. При параллельном расположении намагниченностей слоев Со (под действием внешнего магнитного поля, превосходящего коэрцитивные силы обоих слоев) сопротивление трехслойной структуры минимально, при антипараллельном расположении намагниченностей слоев (области петли, где под влиянием внешнего поля произошло перемагничивание одного из слоев) сопротивление образца максимально.

Таким образом, в общих чертах описывается получение простейшей (основной) слоистой пленочной структуры, в частности процесс получения для приведенной здесь многослойной структуры с магниторезистивным спин-вентильным эффектом.

При необходимости на эту совокупность слоев можно напылить следующие слои с требуемыми параметрами. При этом, если ранее для получения структуры, содержащей магнитные слои с разной коэрцитивной силой, возникала необходимость напылять слои из разных материалов, например кобальт и пермаллой (никель), то есть требовалась две разные магнитные мишени, то при применении предлагаемого решения используется одна магнитная мишень. Этим расширяются возможности имеющегося оборудования. Вполне возможно на подробно описанный выше способ получения структур путем изменения давления наложить варьирование магнитного поля (величины или/и ориентации). Естественно, предварительно необходимо определить его влияние на магнитные или другие параметры. Для пленок редкая земля переходной металл были получены такие зависимости, которые описаны в прототипе. Также были установлены зависимости состава таких ферромагнитных

пленок от давления. При этом контроль состава проводился по зависимости вращательного момента от температуры. Разной температуре магнитной компенсации соответствует различие в составе ($\approx 40\%$). Варьированием давления в процессе напыления были получены слоистые структуры с разным составом. Разный состав подтвержден, например, наличием двух температур компенсации. Поэтому возможно применение вышеуказанного влияния магнитного поля на свойства слоев структур как в сочетании с давлением, так и непосредственно изменением характеристик поля. Порядок действий при этом принципиально не отличается от вышеописанного. Структура, полученная с помощью описанного способа, также не ограничивается приведенными магнитными материалами, а допускает использование и других важных для практики веществ.

Таким образом, преимуществом предлагаемого способа является возможность на базе одного магнитного материала получать структуры с различными свойствами, т.е. существенно расширить применением способа и устройства технологические возможности существующей методики.

Формула изобретения

1. Способ получения многослойных пленок, включающий ионно-плазменное напыление материала мишени на подложку в вакууме при приложении магнитного поля, отличающийся тем, что предварительно устанавливают зависимость характеристик материала напыляемого слоя от величины давления распыляющего газа, а затем осуществляют напыление при величине давления, а также величине и/или ориентации прикладываемого магнитного поля, необходимых для получения заданных характеристик материала напыляемого слоя, причем по крайней мере два слоя напыляют из одной мишени при разных давлениях распыляющего газа.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что напыление осуществляют при приложении горизонтального магнитного поля с учетом комбинаций характеристик приложенного магнитного поля с величиной давления распыляющего газа.

3. Устройство для получения многослойных пленок, содержащее экранированную катод-мишень и подложкодержатель, расположенный в горизонтальном магнитном поле с возможностью изменения ориентации поля, отличающееся тем, что экран выполнен регулируемым по высоте с по крайней мере двумя отверстиями для распыляемого материала, расположенного на мишени, при этом каждое отверстие имеет регулируемую по высоте вставку, причем по вертикали отверстия разделены изолированной дополнительной перегородкой таким образом, что отсутствует перекрытие распыляемого материала на подложке, центр которой может перемещаться при вращении от центра одного отверстия с распыляемым материалом к другому.

4. Устройство по п.3, отличающееся тем, что регулируемая по высоте вставка выполнена в виде удлиненного или укороченного конуса.

5. Многослойная пленка, полученная посредством ионно-плазменного напыления на подложку материала мишени в вакууме при приложении магнитного поля и содержащая по крайней мере три слоя, отличающаяся тем, что по крайней мере два слоя пленки выполнены из одного магнитного материала и получены распылением одной мишени при разных давлениях распыляющего газа, величина которых, а также величина и/или ориентация прикладываемого магнитного поля выбраны из условия получения заданных магнитных характеристик материала.

6. Многослойная пленка по п.5, отличающаяся тем, что она состоит из разделенных

немагнитной прослойкой двух магнитных слоев из одного материала с разными магнитными свойствами.

5

10

15

20

25

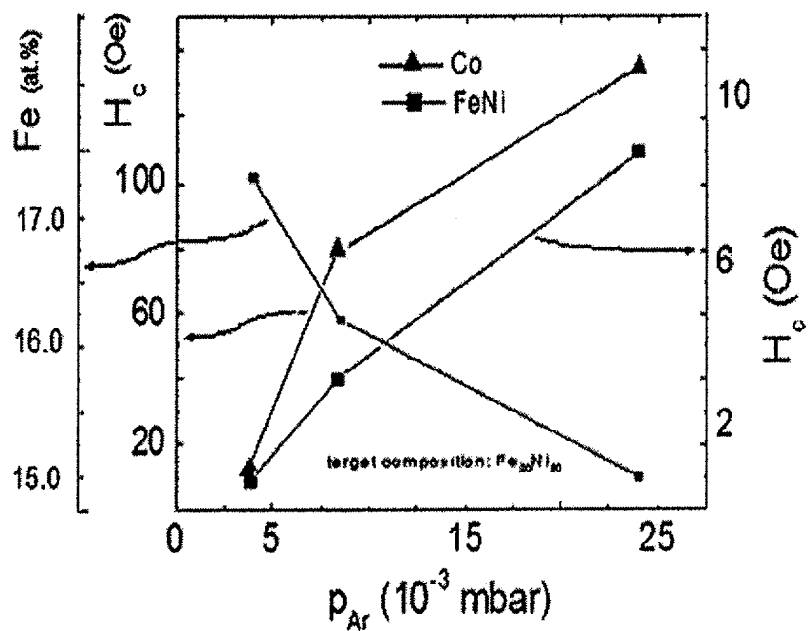
30

35

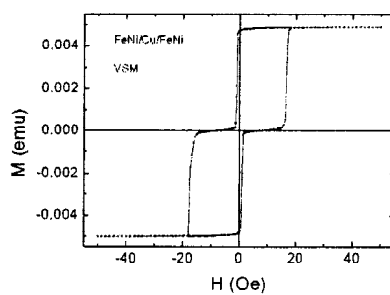
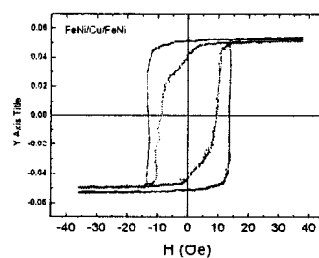
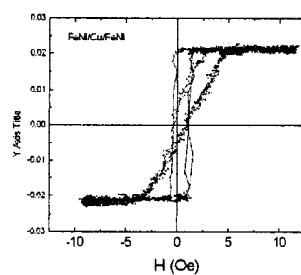
40

45

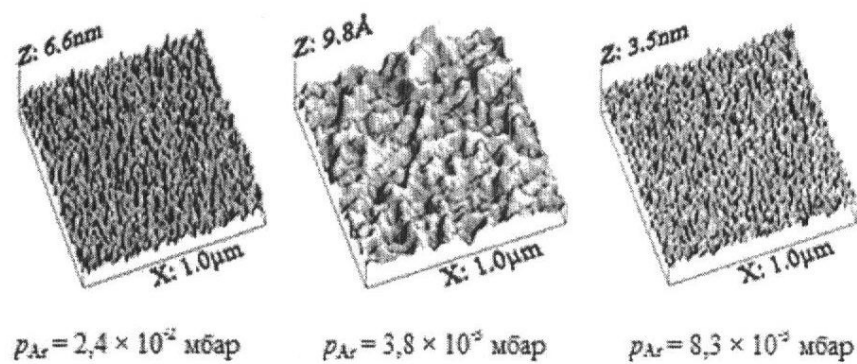
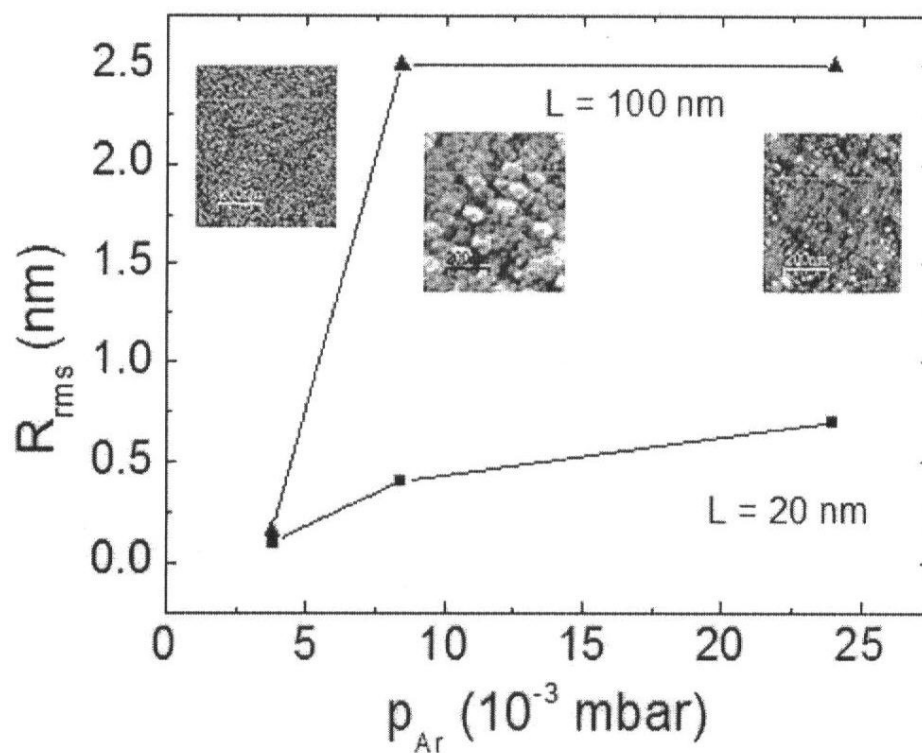
50



$\Phi u \approx .2$



$\Phi u \approx .3$



Фиг. 4

